



TUGAS AKHIR - TM 141585

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PERUBAHAN ARUS DAN  
DEBIT GAS PADA PENGELASAN GTAW TERHADAP POTENSI  
TIMBULNYA RETAK DAN PERUBAHAN KEKERASAN PADA  
ALUMINIUM 2024 SETELAH MENGALAMI *PRECIPITATION  
HARDENING***

PUTRA TANUJAYA  
2110 100 025

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab., Msc.

JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2015



FINAL PROJECT - TM 141585

**EXPERIMENTAL STUDY ON EFFECT OF CURRENT AND GAS  
FLOW RATE IN GAS TUNGSTEN ARC WELDING ON  
POTENTIAL CRAK FORMATION AND CHANGE OF HARDNESS  
IN ARTIFICIALLY AGED ALUMINIUM 2024**

PUTRA TANUJAYA  
2110 100025

SUPERVISOR  
Prof. Dr. Ir. ABDULLAH SHAHAB., MSc.

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2015

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PERUBAHAN ARUS  
DAN DEBIT GAS PADA PENGELASAN GTAW  
TERHADAP POTENSI TIMBULNYA RETAK DAN  
PERUBAHAN KEKERASAN PADA ALUMINIUM 2024  
SETELAH MENGALAMI *PRECIPITATION HARDENING***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik Pada Bidang Studi Metalurgi  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

**PUTRA TANUJAYA**

Nrp. 2110 100 025

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir	
1. <u>Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab., MSc</u> (NIP. 195204171979031002)	 (Pembimbing)
2. <u>Prof. Dr. Ir. Wajan Berata., DEA</u> (NIP. 195012111985021001)	 (Penguji I)
3. <u>Dr. Ir. Soeharto., DEA</u> (NIP. 194809111981031001)	 (Penguji II)
4. <u>Ir. Hari Subiyanto, MSc.</u> (NIP. 196006231988031002)	 (Penguji III)

**SURABAYA**

**28 JANUARI 2015**

# **STUDI EKSPERIMEN PENGARUH PERUBAHAN ARUS DAN DEBIT GAS PADA PENGELOASAN GTAW TERHADAP POTENSI TIMBULNYA RETAK DAN PERUBAHAN KEKERASAN PADA ALUMINIUM 2024 SETELAH MENGALAMI *PRECIPITATION HARDENING***

**Nama Mahasiswa : Putra Tanujaya**  
**NRP : 2110 100 025**  
**Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS**  
**Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab., MSc**

## ***Abstrak***

*Aluminium alloy 2024 merupakan contoh paduan Al-Cu yang memiliki kekuatan yield dan ketahanan terhadap korosi yang baik. Perubahan sifat mekanik dan cacat akibat pengelasan pada daerah weld metal, heat affected zone dan base metal menjadi perhatian utama dalam proses pengelasan.*

*Penelitian secara eksperimen dilakukan pada aluminium paduan 2024 yang telah mengalami precipitation hardening. Metode pengelasan menggunakan Gas Tungsten Arc Welding dengan polaritas AC. Pada kasus perubahan kekerasan akibat perubahan arus, variasi sebesar 120A, 135A, 150A digunakan sebagai parameter. Sedangkan pada kasus perubahan kekerasan pada daerah HAZ akibat perubahan debit gas, variasi sebesar 6 lt/min, 10 lt/min, dan 14 lt/min digunakan sebagai parameter.*

*Berdasarkan hasil pengamatan dapat diketahui pada setiap variasi debit gas yang digunakan, kenaikan besar arus pengelasan secara umum menyebabkan kecenderungan terbentuknya retakan pada daerah logam las. Selain itu dapat pula diketahui Perbandingan lebar las (W) dan kedalaman penetrasi (P) yang semakin kecil menyebabkan kecenderungan terbentuknya centerline crack semakin besar.*

***Kata kunci : GTAW, Perubahan arus dan debit gas, Aluminium 2024, Retak***

# **EXPERIMENTAL STUDY ON EFFECT OF CURRENT AND GAS FLOW RATE IN GAS TUNGSTEN ARC WELDING ON POTENTIAL CRAK FORMATION AND CHANGE OF HARDNESS IN ARTIFICIALLY AGED ALUMINIUM 2024**

**Name** : Putra Tanujaya  
**NRP** : 2110 100 025  
**Department** : Teknik Mesin FTI-ITS  
**Supervisor** : Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab., MSc

## ***Abstract***

*The research in the mechanical properties of aluminium and its alloy increased along with the need for a strong and lightweight material. As material becomes even more sophisticated in their chemical composition to provide even better functionally specific properties, a more complete and precise understanding of how materials can be joined for optimal effectiveness and efficiency will become essential. Aluminum alloy 2024 is one of the example of Al-Cu alloy which has a good yield strength and good corrosion resistance.*

*This experimental study conducted on artificially aged 2024 aluminum alloy. The welding on plate (bead on plate) occurs for currents of 120 A; 135A; and 150 A and gas flow rate of 6 lt/min; 10 lt/min; 14 lt/min for 3 mm workpiece thickness.*

*Based on observations can be seen on every variation of the gas flow rate, the increase in welding current generally cause formation of cracks in the weld metal region. Moreover, it can also be known smaller the Comparison value of weld width (W) and depth of penetration (P) can caused of forming the greater the centerline crack.*

**Key Words** : GTAW, Crack, Effect Of Current And Gas Flow Rate, Aluminium 2024.





---

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala ridho dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul *“Studi Eksperimen Pengaruh Perubahan Arus Dan Debit Gas Pada Pengelasan GTAW Terhadap Potensi Timbulnya Retak Dan Perubahan Kekerasan Pada Aluminium 2024 Setelah Mengalami Precipitation Hardening”*

. Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penulisan Tugas Akhir ini tak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Melalui kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dan mendukung proses penyelesaian tugas akhir ini, antara lain:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab., MSc, Selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Wajan Berata., DEA, Bapak Dr. Ir. Soeharto., DEA, Bapak Ir. Hari Subiyanto M.Sc. selaku dosen penguji Tugas Akhir penulis, terima kasih atas saran-saran yang telah diberikan.
3. Dr. Wawan Aries Widodo., ST., MT selaku Dosen wali penulis, terima kasih atas kebaikan dan kesabarannya selama ini
4. Keluarga yang telah memberi dukungan dan doa hingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak Nur dan Bapak Sutrisno selaku pembimbing di lab. Mekanika Fluida yang telah banyak memberikan saran-saran dan masukan bagi penulis.



6. Kawan kawan Laboratorium Mekanika Fluida.
7. Laboratorium Mekanika Fluida –Meskipun penulis mengambil Tugas Akhir pada bidang Metalurgi, pembimbing serta kawan kawan di laboratorium Mekanika Fluida telah banyak membantu-
8. Pradana Setiabudi Laksana (M53), Imamuddin W (M53), Chalid Maulidi (M53), Go Peter Christian Tedjo H (M53) yang telah banyak membantu selama perkuliahan
9. Aditya Eliansyah (M52) selaku partner Tugas Akhir
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan oleh penulis.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, oleh karena itu saran dan masukan dari semua pihak sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Januari 2015

**Penulis**



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
ABSTRAK .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR TABEL .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	viii
 BAB I PENDAHULUAN .....	 1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	4
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	 7
2.1 Aluminium .....	7
2.2 Heat Treatment .....	8
2.3 <i>Temper Designation</i> Aluminium dan Paduan .....	11
2.4 Gas Tungsten Arc Welding .....	13
2.5 Pengelasan kondisi <i>Artificially Aged</i> .....	15
2.6 Cacat Pengelasan .....	15
 BAB III METODE PENELITIAN .....	 19
3.1 Diagram alur percobaan .....	19
3.2 Rancangan Percobaan .....	21
3.3 Peralatan dan persiapan bahan .....	23
3.4 Pelaksanaan percobaan .....	24





BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....	27
4.1 Analisa Data Panjang Retakan Akibat Perubahan Arus .....	27
4.2 Analisa Perbandingan W dan P .....	32
4.3 Analisa Terbentuknya Retakan Mikro .....	36
4.4 Analisa Perubahan Kekerasan .....	37
BAB V PENUTUP .....	43
5.1 Kesimpulan .....	43
5.2 Saran .....	44
DAFTAR PUSTAKA .....	45
LAMPIRAN .....	47
RIWAYAT PENULIS .....	51



---

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.2.1 Tabel Uji Kekerasan <i>Solution Treatment</i> .....	22
Tabel 3.2.2 Tabel Uji Kekerasan <i>Precipitation Hardening</i> .....	22
Tabel 3.2.2 Tabel Rancangan Percobaan.....	23
Tabel 4.1 Tabel Panjang Retakan.....	27
Tabel 4.2 Tabel Nilai W dan P .....	32
Tabel 4.2 Tabel Nilai Uji Kekerasan.....	37



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Range temperature Heat Treatment</i> .....	9
Gambar 2.2 Karakteristik <i>aging</i> pada Aluminium 2024 .....	10
Gambar 2.3 Tahapan proses <i>precipitation hardening</i> .....	11
Gambar 2.4 Skema Pengelasan TIG .....	13
Gambar 2.5 Gambar Jenis Polaritas .....	14
Gambar 2.6 Siklus Termal Al-Cu .....	15
Gambar 2.7 Aluminium 2219 <i>artificially aged</i> .....	16
Gambar 3.1 Flowchart Perlakuan Panas .....	19
Gambar 3.2 Flowchart Pengelasan .....	20
Gambar 3.3 Penampang Benda Kerja .....	25
Gambar 3.4 Penampang Melintang Spesimen .....	19
Gambar 3.5 Proses Perlakuan Panas .....	25
Gambar 3.6 Penampang pengujian kekerasan .....	26
Gambar 3.7 Penampang hasil pengelasan .....	19
Gambar 4.1 Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Panjang Retakan .....	29
Gambar 4.2 Retakan hasil pengelasan .....	30
Gambar 4.3 Dokumentasi W dan P .....	32
Gambar 4.4 Skema W dan P .....	32
Gambar 4.5 Pengaruh Arus & Debit Gas Terhadap Rasio Lebar las (W) dan Kedalaman Penetrasi (P) .....	34
Gambar 4.6 <i>Hot Crack</i> pada <i>centerline</i> logam las .....	35
Gambar 4.7 Microcrack .....	32
Gambar 4.7 <i>Hot Crack</i> pada <i>centerline</i> logam las .....	35
Gambar 4.8 Pengaruh Arus Terhadap Kekerasan .....	39





## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Aluminium dan paduannya merupakan bahan utama yang banyak diaplikasikan untuk material struktur dari pesawat komersial maupun pesawat militer selama 80 tahun terakhir, hal ini dikarenakan sifat aluminium yang mudah dibentuk, proses manufaktur relatif mudah, dan sifat mekanik yang baik [1].

Kekuatan material, modulus young, ketahanan terhadap korosi dan kekerasan material merupakan sifat mekanik yang dapat ditingkatkan [1]. Perbaikan sifat mekanik pada aluminium dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya adalah dengan memberikan perlakuan panas pada aluminium. *Precipitation hardening* merupakan salah satu jenis perlakuan panas yang banyak digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik pada aluminium paduan.

Proses *precipitation hardening* pada aluminium terdiri dari beberapa tahapan. Pertama, aluminium dipanaskan hingga memasuki daerah satu fase, sehingga dapat melarutkan unsur paduan. Proses selanjutnya adalah pendinginan cepat (*quenching*) untuk menghasilkan larutan padat jenuh. Setelah itu dilanjutkan dengan proses *aging* untuk menghasilkan presipitat. Proses *aging* dapat dilakukan secara natural ataupun buatan [2].

Penelitian mengenai rekayasa sifat mekanik pada aluminium dan paduannya semakin meningkat seiring dengan dibutuhkannya material yang kuat dan ringan. Komposisi kimia material yang berkembang semakin beragam untuk menghasilkan sifat fungsional tertentu, menyebabkan perlunya pemahaman yang lebih tepat dan menyeluruh tentang





bagaimana material tersebut dapat disambungkan dengan efektif dan efisien [3]. Salah satu metode untuk penyambungan aluminium adalah dengan pengelasan.

Pengelasan merupakan suatu proses fabrikasi logam dengan menggunakan proses peleburan dan solidifikasi lokal. Pada proses ini, pemberian panas dan pendinginan yang terjadi bisa menimbulkan perubahan - perubahan sifat mekanik dan metallurgis pada logam [5].

*Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) merupakan salah satu jenis pengelasan busur (*arc welding*) yang banyak digunakan pada proses penyambungan logam. Pada pengelasan dengan metode GTAW terdapat gas selubung yang berfungsi sebagai pelindung logam cair dari udara luar [6]. GTAW merupakan proses pengelasan yang bersih sehingga dapat digunakan pada pengelasan logam logam yang reaktif seperti titanium, zirconium, aluminium, dan magnesium [7].

Timbulnya cacat pada material setelah proses pengelasan menjadi perhatian utama dalam mendesain sebuah sambungan. Salah satu jenis cacat yang sering terjadi adalah retak pada logam las. Pada umumnya retakan tersebut dipengaruhi oleh jumlah paduan, jenis paduan, besar *heat input*, dan geometri las yang terbentuk.

Berawal dari masalah tersebut maka dilakukan penelitian mengenai pengelasan Al-Cu dengan memvariasikan besar arus dan debit gas untuk mengetahui pengaruh dari variasi tersebut terhadap kecenderungan terbentuknya retak berupa *hot crack* pada logam las.

Pengaruh pengelasan terhadap logam aluminium dan paduannya telah banyak dipelajari. Beberapa eksperimen juga telah dilakukan untuk memahami mikrostruktur dan sifat mekanik dari hasil pengelasan aluminium dan paduan.



Beberapa penelitian terdahulu yang membahas tentang pengelasan GTAW pada aluminium dengan debit gas pelindung sebagai parameter dilakukan oleh Peasura dan Watanapa pada tahun 2011 [8]. Peasura dan Watanapa mempublikasikan pengaruh gas pelindung terhadap aluminium paduan 5083 pada pengelasan GTAW. Beberapa jenis gas pelindung yang digunakan adalah helium dan argon. Debit gas pelindung yang digunakan 6, 10, dan 14 liter per menit. Gas pelindung berupa argon dengan debit gas 14 liter per menit menunjukkan hasil yang paling efektif pada daerah *Heat Affected Zone* dan *fusion zone*.

Pada tahun 2013 Hadadzadeh, Ghaznavi, dan Kokabi [20] melakukan eksperimen pada material Al-6.7Mg Alloy dengan menggunakan metode pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* polaritas AC. Arus yang digunakan dalam proses pengelasan 120 A, 135A, dan 150A. Kesimpulan dari penelitian tersebut adalah dengan bertambahnya arus yang digunakan pada pengelasan GTAW kekuatan dari lasan berkurang karena terbentuknya mikrostruktur yang lebih kasar pada logam las.

Pada tahun 2012 Yao Liu et al [9] melakukan penelitian mengenai perbandingan sifat mekanik hasil pengelasan aluminium 5083 dengan metode pengelasan GTAW dan GMAW. Pengelasan dengan metode GMAW dilakukan dengan parameter berupa polaritas DCRP sedangkan pada metode GTAW dilakukan dengan polaritas AC. Hasil dari penelitian tersebut menyebutkan bahwa pengelasan menggunakan metode GTAW menghasilkan keandalan yang lebih baik.





### 1.2 Rumusan Masalah

Penelitian tentang pengaruh pengelasan pada aluminium paduan telah dilakukan baik secara eksperimen ataupun secara simulasi. Untuk mendapatkan hasil analisa yang akurat penelitian ini dilakukan dengan cara eksperimen. Dalam penelitian ini akan diamati pengaruh dari perubahan parameter pengelasan berupa arus dan debit gas terhadap bentuk geometri las serta potensi timbulnya retakan pada logam las berupa *hot crack*. Selain itu, pada penelitian ini akan diamati pula pengaruh pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* terhadap perubahan kekerasan pada daerah *weld metal*, *heat affected zone*, dan *base metal* pada material Aluminium 2024 yang telah mengalami *precipitation hardening*

### 1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini lebih spesifik, maka permasalahan ini dibatasi hanya pada hal-hal berikut ini:

1. Proses pengelasan manual dengan kecepatan pengelasan dianggap konstan.
2. Kondisi peralatan pengujian yang digunakan dianggap telah sesuai dan sudah terkalibrasi dengan baik.
3. Lokasi pengujian spesimen representatif dari logam yang diperiksa.
4. Perlakuan panas T6 dengan *quenching*.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Membandingkan kecenderungan terbentuknya retakan berupa *hot crack* hasil proses pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* pada setiap variasi parameter pengelasan.



2. Mengetahui pengaruh perubahan perbandingan lebar logam las (W) dengan kedalaman penetrasi (P) terhadap kecenderungan terbentuknya *centerline crack* pada Aluminium 2024.
3. Mengetahui pengaruh perubahan arus pada proses *Gas Tungsten Arc Welding* terhadap perubahan kekerasan pada daerah logam las, HAZ (*Heat Affected Zone*), dan logam induk pada Aluminium 2024.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Dapat memberikan informasi mengenai potensi terjadinya *hot crack* pada hasil pengelasan aluminium 2024.
2. Dapat memberikan informasi mengenai perubahan kekerasan pada daerah *weld metal*, *heat affected zone*, dan *base metal* yang terjadi akibat pengelasan menggunakan metode GTAW pada aluminium 2024 yang telah mengalami *precipitation hardening*.
3. Dapat dijadikan referensi untuk penelitian mengenai pelngelasan selanjutnya.





**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Aluminium

#### 2.1.1 *Properties* Aluminium

Aluminium dan paduannya merupakan salah satu jenis logam *non-ferrous* dengan *density* dari 2,6 g/cm<sup>3</sup> hingga 3,0 g/cm<sup>3</sup>. Aluminium memiliki sifat yang unik diantaranya ringan, kekuatan yang baik, dan ketahanan terhadap korosi. Temperatur *melting* dari Aluminium murni adalah 660 °C (1220 °F) sedangkan pada paduan Aluminium memiliki *range* temperatur *melting* mulai dari 480 °C (900 °F) hingga 660 °C (1200 °F), tergantung pada jenis paduan [10, 11].

#### 2.1.2 Klasifikasi Aluminium

- Seri 1xxx. Merupakan jenis Aluminium murni, dengan tingkat kemurnian 99.00% atau lebih.
- Seri 2xxx. Pada Aluminium seri 2xxx, Copper merupakan unsur paduan utama, sering kali terdapat Magnesium (Mg) sebagai paduan sekunder. Pada umumnya seri 2xxx bersifat *heat treatable*.
- Seri 3xxx. Pada Aluminium seri 3xxx, Mangan (Mn) merupakan unsur paduan utama.
- Seri 4xxx. Pada Aluminium seri 4xxx, Silicon (Si) merupakan unsur paduan utama. Pada umumnya Aluminium seri 4xxx bersifat *non-heat treatable*.
- Seri 5xxx. Pada Aluminium seri 5xxx, Magnesium (Mg) merupakan unsur paduan utama. Seri 5xxx memiliki *weldability* yang baik serta *corrosion resistance* yang baik.
- Seri 6xxx. Pada Aluminium seri 6xxx, terdapat paduan berupa Silicon (Si) dan Magnesium (Mg). Seri 6xxx memiliki *weldability*, *machinability*, *formability* serta *corrosion resistance* yang baik.



- Seri 7xxx. Pada Aluminium seri 7xxx, Zinc (Zn) merupakan unsur paduan utama dan terdapat Magnesium dan Copper dalam presentase yang kecil sebagai paduan sekunder. Seri 7xxx memiliki kekuatan yang sangat baik sehingga banyak digunakan pada struktur pesawat.

### **2.1.3 Heat Treatable Aluminium Alloys**

Terdapat beberapa jenis Aluminium yang bersifat *heat-treatable* diantaranya adalah Al-Cu, paduan Aluminium seri 2xxx dan 2xx.x (*wrought product* dan *cast product*); Al-Mg-Si (6xxx *wrought alloy*); dan Al-Zn-Mg-Cu (7xxx *wrought product* dan 7xx.x *cast product*) [12].

## **2.2 Heat Treatment**

*Heat Treatment* merupakan proses pemanasan dan pendinginan yang dilakukan dengan tujuan untuk merubah sifat mekanik, struktur metalurgi, dan tegangan sisa pada logam [12].

### **2.2.1 Solution Heat Treatment**

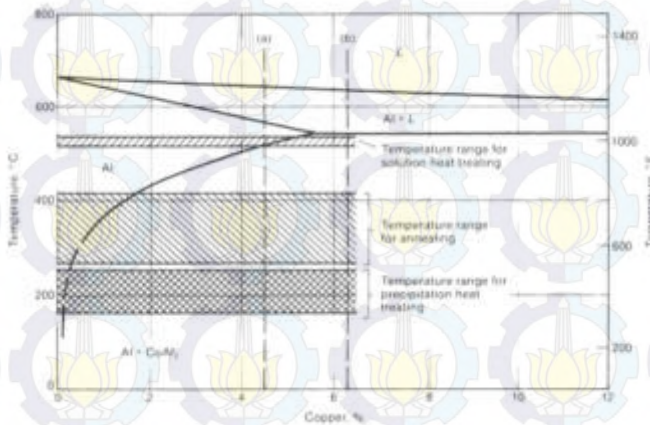
*Solution heat treatment* merupakan tahap pertama dari proses penguatan secara presipitasi. Sampel dari logam paduan berupa *wrought* atau *cast product* dipanaskan hingga mencapai temperatur diantara solvus dan solidus kemudian ditahan pada temperatur tersebut hingga membentuk larutan padat [13].

Pada Aluminium 2024 *solution heat treatment* dilakukan pada suhu 495°C [12].

### **2.2.2 Precipitation Hardening**

*Precipitation hardening* adalah mekanisme penguatan yang melibatkan kelompok - kelompok kecil atom - atom terlarut yang tersusun secara teratur (dalam hal ini, atom terlarut terkumpul dalam kelompok kelompok kecil namun masih memiliki struktur kristal yang sama dengan fase pelarut) [12].





Gambar 2.1 Range temperatur untuk *annealing*, *solution heat treating* dan *precipitation hardening* pada paduan Al-Cu [12]

### 2.2.3 *Precipitation Hardening* pada Aluminium – Copper

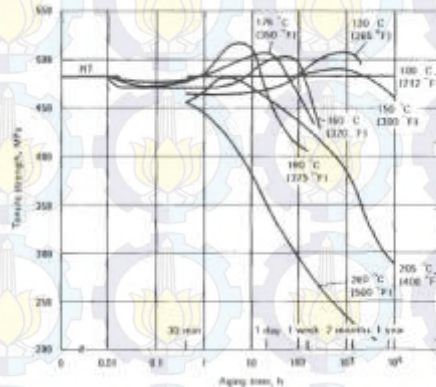
Pada gambar 2.1 terlihat *range* temperatur *solution treatment* yang digunakan sebelum proses *precipitation hardening* Aluminium - Copper. Pada temperatur diatas kurva *solvus*, tembaga akan benar benar terlarut dan ketika paduan ditahan pada temperatur tersebut dengan lama waktu yang cukup untuk menghasilkan proses difusi yang diinginkan, Tembaga akan berubah menjadi larutan padat (*solid solution*) didalam paduan Aluminium – Copper [12]. Ketika sebuah paduan telah berubah seluruhnya menjadi larutan padat (*solid solution*) dengan menahan diatas temperatur *solvus*, kemudian temperatur diturunkan dibawah *solvus*, larutan padat berubah menjadi *super-saturated solid solution* [12]. Keberhasilan dari proses presipitasi ditentukan dari terbentuknya *super-saturated solid solution* yang diperoleh dari pendinginan cepat pada proses *solution treatment* [12].

Karakteristik proses *aging* bervariasi pada setiap paduan [12]. Pada gambar 2.2 terlihat kurva karakteristik *aging* untuk aluminium 2024. Secara umum semakin rendah temperatur *aging*



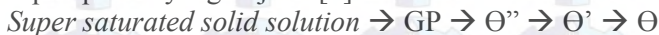


maka proses pengerasan dengan *precipitation hardening* juga akan semakin membutuhkan waktu yang lebih lama.



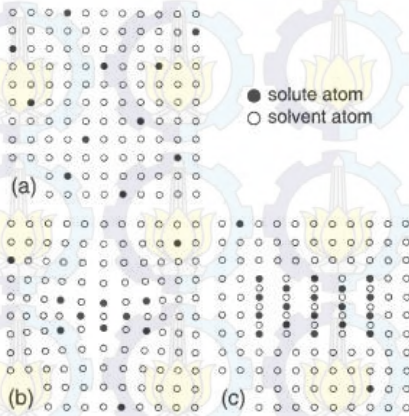
Gambar 2.2 Karakteristik *aging* pada Aluminium sheet 2024 [14]

Pada proses *precipitation hardening* paduan Al-Cu terdapat lima tahapan proses yang terjadi. [7]:



GP (Guinier-Preston) merupakan daerah dimana terdapat presipitat berbentuk cakram dengan diameter 80-100 Å. Pada daerah GP kandungan Cu relatif lebih banyak dibandingkan dengan *super saturated solid solution* (Gambar 2.3 (a)). Pada fase  $\Theta''$  ukuran presipitat membesar dengan ukuran diameter 100-1000 Å. Pada fase  $\Theta'$  diameter presipitat semakin membesar dengan ukuran diameter 100-6000 Å. Pada fase  $\Theta$  (gambar 2.3 (c)) merupakan fase ekuilibrium dengan struktur kristal bct (*body centered tetragonal*) [7].

*Precipitation hardening* dilakukan pada temperatur 190 °C untuk Aluminium 2024 berbentuk lembaran, plat, batang sirkular, atau balok [14]. Temperatur tersebut harus dicapai dalam waktu yang singkat dan dijaga dengan toleransi  $\pm 6$  °C selama proses presipitasi [14].



Gambar 2.3 Tahapan proses *precipitation hardening* pada paduan Al-Cu (a) *super saturated solid solution* (b) *coherent metastable* (c) *incoherent equilibrium phase* [7]

### 2.3 Temper Designation Aluminium dan paduan

*Temper designation* untuk paduan aluminium yang dapat dikeraskan dengan perlakuan panas dapat dibagi sebagai berikut [12]:

**O (Annealed)** : Diaplikasikan pada *wrought product* yang telah mengalami proses *annealing* untuk meningkatkan keuletan

**W (Solution Heat Treated)** Diaplikasikan pada logam paduan yang mengalami *natural aging* setelah proses *solution treatment*

**T : Heat Treated**

Pada umumnya T-type akan diikuti notasi angka 1 hingga 10 untuk mengetahui urutan dari perlakuan panas.

**T1** : Diaplikasikan pada produk yang tidak mengalami *cold work* setelah proses pembentukan pada temperatur tinggi.



**T2** : Diaplikasikan pada produk yang mengalami *cold work* dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan setelah proses pendinginan dari pengerjaan panas.

**T3** : Diaplikasikan pada material yang mengalami *cold work* setelah proses *solution treatment* yang kemudian dilanjutkan dengan proses *natural aging*.

**T4** : Diaplikasikan pada material yang tidak mengalami *cold work* setelah proses *solution treatment* yang kemudian dilanjutkan dengan proses *natural aging*.

**T5** : Diaplikasikan pada material yang tidak mengalami *cold work* setelah proses pembentukan pada temperatur tinggi yang kemudian dilanjutkan dengan proses *artificial aging*.

**T6** : Diaplikasikan pada produk yang tidak mengalami *cold work* setelah proses *solution treatment* yang kemudian dilanjutkan dengan proses *artificial aging*.

**T7** : Diaplikasikan pada produk yang mengalami *over aging*.

**T8** : Diaplikasikan pada material yang mengalami *cold work* setelah *solution treatment* yang kemudian dilanjutkan dengan proses *precipitation hardening*.

**T9** : Diaplikasikan pada material yang mengalami *cold work* setelah proses *precipitation hardening*.

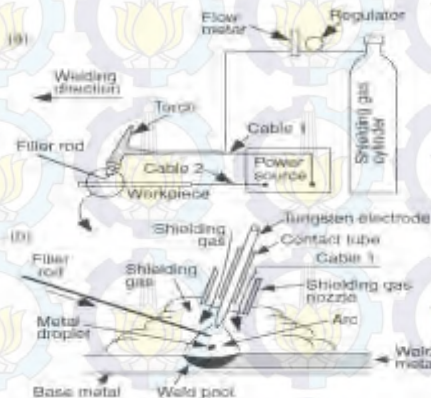
**T 10** : Diaplikasikan pada material yang mengalami *cold work* setelah proses pendinginan dari pengerjaan panas yang kemudian dilanjutkan proses *artificial aging*.





## 2.4 Gas Tungsten Arc Welding (GTAW / TIG)

*Gas Tungsten Arc Welding* atau TIG adalah metode las yang biasa dilakukan pada proses pengelasan paduan Aluminium. *Tungsten Inert Gas* merupakan jenis las busur yang menggunakan elektrode *non-consumable* berupa tungsten dan menggunakan gas inert sebagai gas pelindung [15].



Gambar 2.4 (a) Skema pengelasan TIG (b) Area pengelasan yang diperbesar [7]

Proses pengelasan menggunakan TIG dapat dilakukan dengan atau tanpa *filler* (pengisi) [16]. Ketika tidak ada *filler* yang digunakan dalam proses TIG, material harus tipis dan jarak sambungan harus dekat [16].

Skema pengelasan GTAW dapat dilihat pada gambar 2.4. Pada gambar tersebut terlihat bahwa elektroda tungsten terletak pada *torch* yang dihubungkan dengan tabung gas pelindung dan sumber tenaga. Pada gambar 2.4 (a) elektroda tungsten menempel pada *tube* pendingin yang pada umumnya disebut dengan *contact tube* [7].

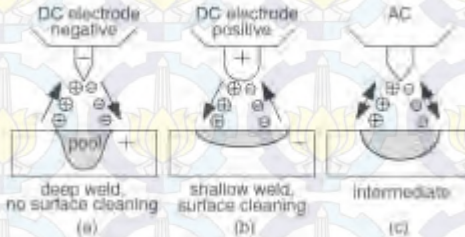
Proses GTAW dapat menghasilkan panas hingga 35.000 °F (19.426 °C) [8]. GTAW dapat digunakan pada proses pengelasan stainless steel, paduan nikel seperti monel dan inconel, titanium, aluminium, magnesium, tembaga, kuningan, dan perunggu [7].





### 2.4.1 Polaritas

Terdapat tiga jenis polaritas pada metode pengelasan GTAW



Gambar 2.5 Jenis polaritas pada GTAW [7]

- DCEN (Direct – Current Electrode Negative)**  
 DCEN sering pula disebut DCSP (Direct – Current Straight Polarity) dimana elektrode dihubungkan pada kutub negatif pada *power supply*. Pada ilustrasi gambar 2.5 dapat terlihat elektron bergerak dari elektrode menumbuk logam induk dengan kecepatan yang tinggi sehingga dapat menghasilkan penetrasi. Pada pengelasan GTAW dengan polaritas DCEN menghasilkan 2/3 panas berada pada logam las, sedangkan 1/3 panas terdapat pada elektrode, sehingga hasil pengelasan relatif sempit dan memiliki penetrasi dalam.
- DCEP (Direct - Current Electrode Positive)**  
 DCEP sering pula disebut DCRP (Direct – Current Reverse Polarity) dimana elektrode dihubungkan pada kutub positif *power supply*. Pada ilustrasi gambar 2.5 dapat terlihat bahwa pada pengelasan GTAW elektron bergerak menuju elektrode. Pada penggunaan jenis polaritas DCEP terdapat mekanisme *cleaning*, dimana ion positif dari gas pelindung melindungi logam las, sehingga menghasilkan permukaan pengelasan yang bersih serta melindungi logam las dari korosi. Pengelasan GTAW dengan polaritas DCRP menghasilkan 2/3 panas berada pada elektrode, sedangkan 1/3 panas terdapat pada logam las, sehingga hasil pengelasan relatif lebar dan memiliki penetrasi yang dangkal.

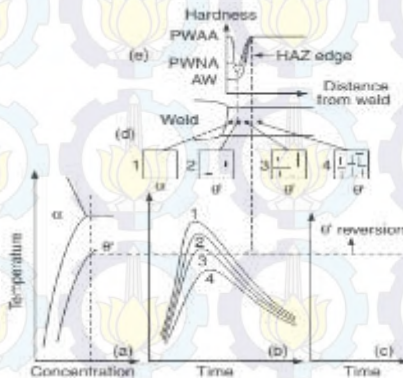


- **AC (Alternating Current)**

Penggunaan polaritas AC pada GTAW sama dengan penggunaan polaritas DCEP dan DCEN secara bergantian [8]. Hasil pengelasan dengan polaritas AC memiliki penetrasi yang cukup baik. Polaritas jenis AC sering digunakan pada pengelasan aluminium.

## 2.5 Pengelasan Pada Kondisi *Artificially aged*

Aluminium seri 2xxx dan 6xxx merupakan jenis paduan yang dapat dikeraskan dengan proses perlakuan panas [7]. Pada pengelasan logam, proses pemberian panas dan pendinginan akan menyebabkan perubahan metalurgis pada logam yang telah mengalami perlakuan panas berupa *artificial aging* (*precipitation hardening*).

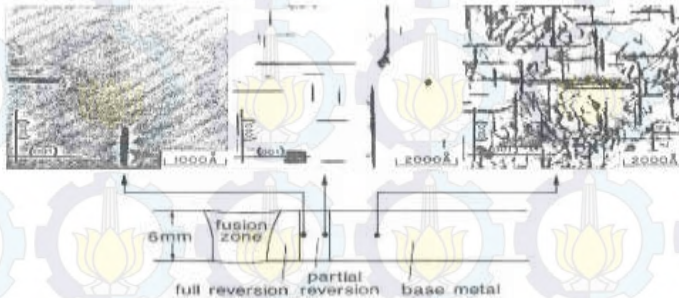


Gambar 2.6 (a) diagram fase Al-Cu (b) siklus termal (c) *reversion*  $\theta'$  (d) mikrostruktur (e) distribusi kekerasan [7]

Gambar 2.6 merupakan ilustrasi perubahan metalurgis pada aluminium 2219. Dapat terlihat bahwa posisi 4 mengalami proses pemanasan hingga temperatur dibawah  $\theta'$  *solvus* dimana daerah tersebut tidak terpengaruh oleh proses pemanasan. Posisi 2 dan 3 mengalami pemanasan hingga hingga temperatur diatas  $\theta'$  *solvus*



sehingga mengalami *partial reversion*. Pada titik satu pemanasan terjadi pada temperatur yang lebih tinggi sehingga mengalami *fully reverted* [7].



Gambar 2.7 Aluminium 2219 *artificially aged* [7]

Pada gambar 2.7 terlihat struktur mikro hasil pengelasan pada material 2219 dengan kondisi terpresipitasi sebelum mengalami pengelasan. Dapat terlihat pada gambar tersebut daerah base metal merupakan daerah yang tidak terpengaruh oleh pemanasan pada saat proses pengelasan. Hal ini dapat terlihat dari jumlah fase  $\Theta'$  yang masih tersebar merata. Pada jarak yang semakin dekat dengan daerah logam las, jumlah fase  $\Theta'$  semakin berkurang, hal ini disebabkan adanya proses pemanasan yang mengakibatkan *overaging* (Posisi 2 pada gambar 2.6 d).

## 2.6 Cacat Pada Pengelasan

Pembentukan cacat pada material yang mengalami proses *fusion welding* menjadi perhatian utama dalam mendesain suatu pengelasan [17]. Cacat las adalah suatu keadaan hasil pengelasan dimana terjadi penurunan kualitas dari hasil lasan. Kualitas hasil lasan yang dimaksud adalah berupa turunya kualitas daerah pengelasan dibandingkan dengan kualitas base metal [6].





### 2.6.1 Crack

Retak merupakan salah satu jenis cacat yang berbahaya, terutama jika terjadi kondisi pembebanan *fatigue*. *Crack* dapat terjadi pada logam las, *base metal* atau daerah HAZ [18]. Secara umum terdapat dua jenis *crack* yaitu *hot crack* dan *cold crack* [17].

*Hot crack* merupakan retakan yang terjadi pada *fusion zone* ketika akhir proses solidifikasi. *Hot crack* merupakan hasil dari ketidakmampuan material semisolid untuk mengakomodasi terjadinya penyusutan termal akibat proses solidifikasi [17].

*Cold crack* merupakan retakan akibat kontaminasi hidrogen pada pengelasan [17]. *Cold crack* pada umumnya merupakan fenomena retakan yang tertunda, dimana fenomena ini tidak langsung terjadi sesaat setelah pengelasan namun akan terlihat dalam jangka waktu beberapa minggu atau beberapa bulan setelah proses pengelasan [17].

### 2.6.2 Porositas

Porositas merupakan cacat las berupa lubang-lubang halus atau pori pori yang biasanya terbentuk didalam logam las akibat terperangkapnya gas yang terjadi akibat proses pengelasan. Disamping itu porositas dapat pula terbentuk akibat kekurangan logam cair karena penyusutan ketika logam membeku. Porositas seperti itu disebut *shrinkage porosity* [6].

### 2.6.3 Inklusi

Cacat ini disebabkan oleh pengotor berupa unsur unsur dari luar yang terjebak pada proses pembekuan. Cacat ini pada umumnya terjadi pada daerah logam las (*weld metal*). Pada umumnya penyebab cacat ini dikarenakan proses pembersihan yang kurang baik [6].



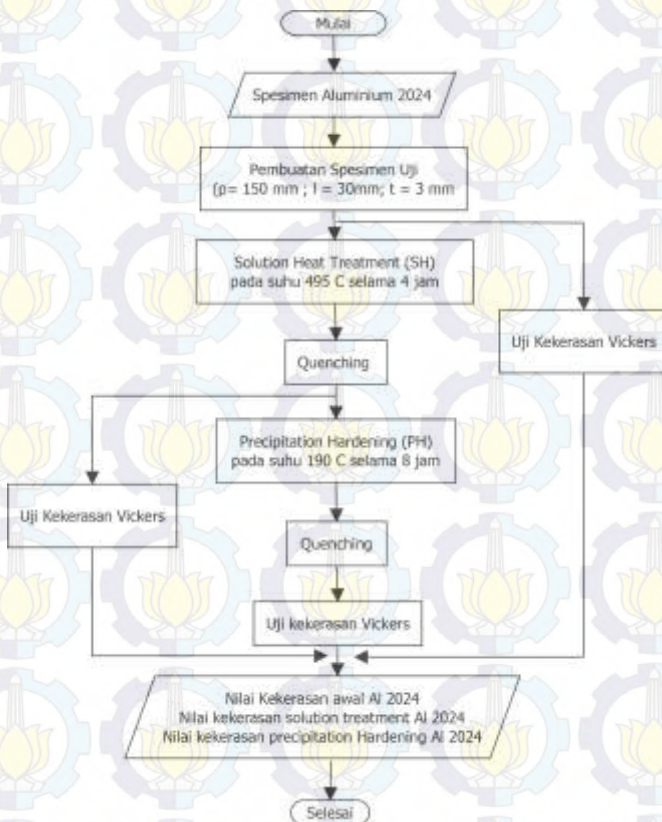
**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



### BAB III METODE PENELITIAN

#### 1.1 Diagram Alur Penelitian

##### 1.1.1 Diagram alur prosedur pelaksanaan *solution treatment* dan *precipitation hardening*

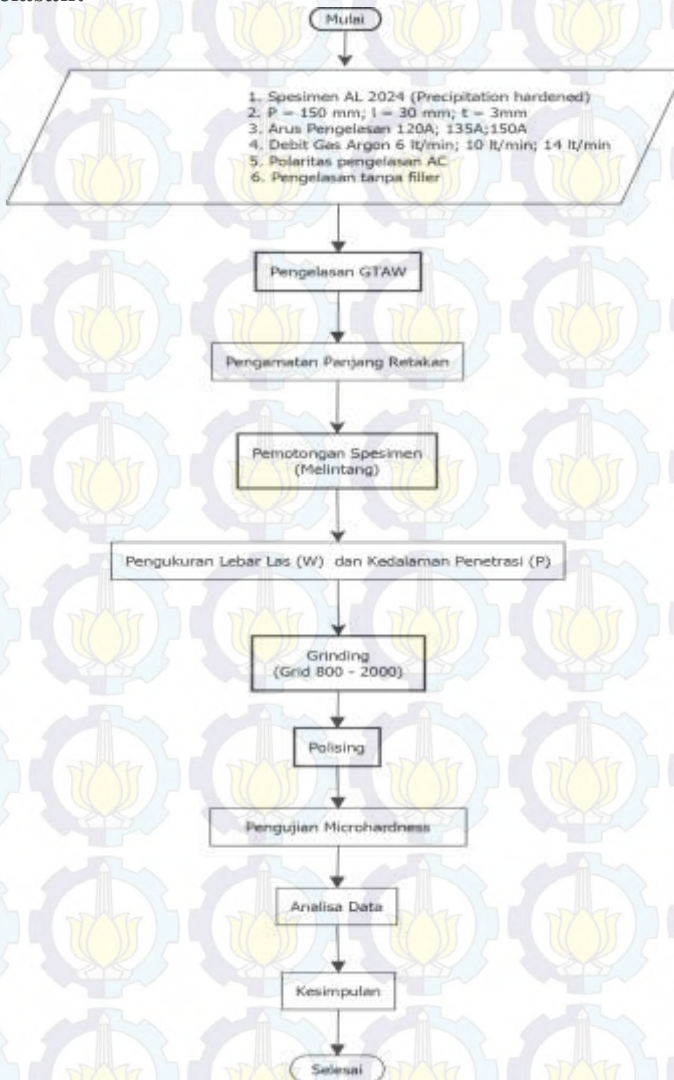


Gambar 3.1 Flowchart Heat Treatment





### 3.1.2 Diagram alur prosedur pelaksanaan percobaan pengelasan:



Gambar 3.2 Flowchart pengelasan



## 1.2 Rancangan Percobaan

### 3.2.1 Tabel uji kekerasan *solution treatment*

Suhu	Spesimen	Titik	Diagonal 1	Diagonal 2	D rata rata	HVN
495° C	1	1				
		2				
		3				
	2	1				
		2				
		3				
	3	1				
		2				
		3				

### 3.2.2 Tabel uji kekerasan *precipitation hardening*

Suhu	Spesimen	Titik	Diagonal 1	Diagonal 2	D rata rata	HVN
190° C	1	1				
		2				
		3				
	2	1				
		2				
		3				
	3	1				
		2				
		3				



### 3.2.3 Tabel rancangan percobaan dengan variasi arus dan debit gas

	Debit Gas	Arus	Lebar HAZ	Lebar Weld Metal	Nilai Kekerasan (HVN)			Panjang Retakan
					Weld Metal	HAZ	Base Metal	
Precipitation Hardening	6 lt/min	120A						
		135A						
		150A						
	10 lt/min	120A						
		135A						
		150A						
	14 lt/min	120A						
		135A						
		150A						

### 3.2.5 Parameter yang digunakan

Dalam penelitian ini parameter yang divariasikan antara lain:

1. Arus (120A, 135A, 150A)
2. Debit gas pelindung (6 lt/min, 10 lt/min, 14lt/min)
3. Perlakuan panas (*Precipitation Hardening*)

### 3.2.6 Respon yang diamati

Respon yang akan diamati berupa :

1. Panjang retakan yang terjadi akibat pengelasan.
2. Lebar logam las dan kedalaman penetrasi.
3. Kekerasan pada daerah weld metal, HAZ, dan base metal akibat pengelasan.





### 3.3 Peralatan dan Persiapan Bahan

#### 3.3.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. *Aluminium alloy 2024 O*

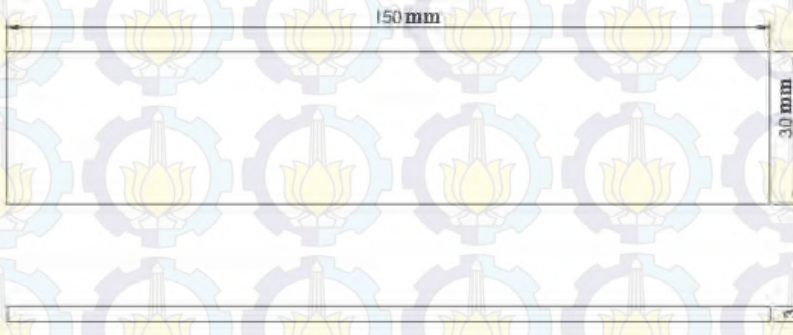
#### 3.3.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Mesin Las GTAW
2. Gas argon
3. *Furnace Nabetherm*
4. Mesin Grinding dan Polishing
5. Kertas poles
6. Mesin uji mikro *hardness*

#### 3.3.3 Persiapan Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah material *Aluminium Alloy 2024 O* dengan panjang 150 mm lebar 30 mm dan tebal 3 mm.



Gambar 3.3 Material dengan ukuran 150mm x 30mm x 3mm



### 3.3.5 Pemotongan Material

Setelah proses pengelasan GTAW, dilakukan pemotongan melintang pada material sehingga dapat diukur lebar HAZ, lebar logam las (W) dan kedalaman penetrasi (P). Pemotongan melintang juga dilakukan untuk melihat adanya potensi crack pada pengelasan



Gambar 3.4 Penampang Melintang Spesimen

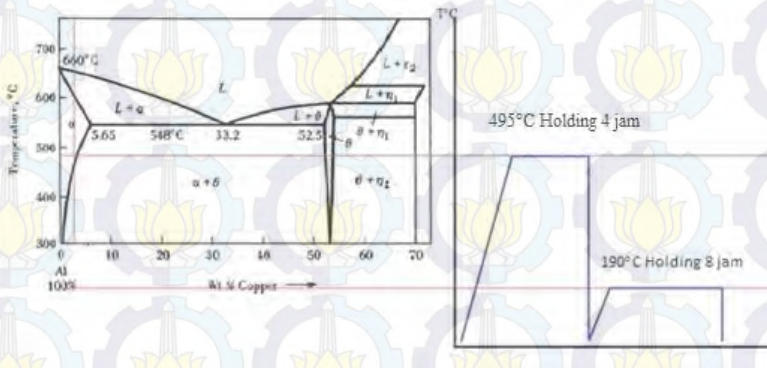
## 3.4 Pelaksanaan Percobaan

### 3.4.1 Persiapan Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah material *Aluminium Alloy 2024* dengan panjang 150 mm lebar 30 mm dan tebal 3 mm (Gambar 3.3).

### 3.4.2 Heat Treatment

Proses *Heat Treatment* yang dilakukan pada penelitian ini adalah *solution treatment* dan *precipitation hardening* [T6]. *Solution treatment* dilakukan pada suhu 495°C dengan *holding time* 4 jam kemudian spesimen di *quench* pada media air untuk menghasilkan larutan padat jenuh. Spesimen dipanaskan kembali pada proses *precipitation hardening* pada suhu 190°C dengan lama *holding time* 8 jam.

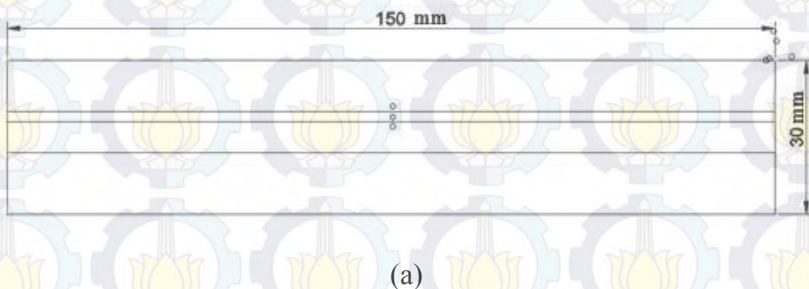


Gambar 3.5 Proses *solution treatment* dan *precipitation hardening*

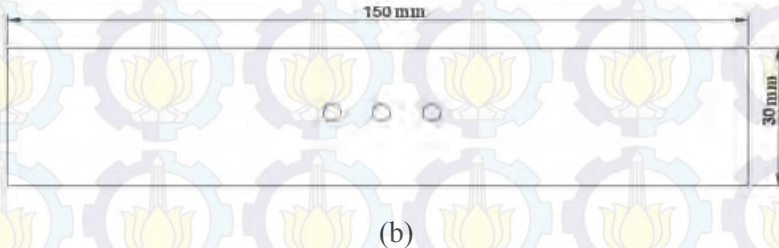
### 3.4.3 Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan awal dilakukan pada aluminium 2024 sebelum mengalami perlakuan panas, setelah mengalami *solution treatment* dan setelah mengalami *precipitation hardening*. Pada pengujian kekerasan ini digunakan pengujian kekerasan makro *hardness vickers* dengan pembebanan 3 kgf.

Pengujian kekerasan kedua dilakukan pada aluminium 2024 setelah proses pengelasan. Pengujian dilakukan pada daerah *weld metal*, HAZ, dan *base metal*. Pengujian kekerasan hasil pengelasan dilakukan dengan *microhardness vickers* dengan beban 0,3 kgf



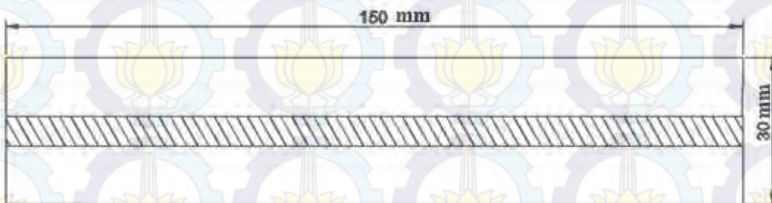




Gambar 3.6 Penampang pengujian kekerasan hasil pengelasan (a);  
Penampang pengujian kekerasan setelah perlakuan panas (b)

#### 3.4.4 Gas Tungsten Arc Welding

Pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* dilakukan pada paduan aluminium 2024 dengan ketebalan spesimen 150mm x 30mm x 3mm. Pengelasan yang dilakukan tanpa menggunakan *filler* dengan memvariasikan arus pada 120A, 135A, 150A dan debit gas pelindung 6 lt/min, 10 lt/min, 14lt/min. Pengelasan dilakukan dengan polaritas AC (*Alternating Current*).



Gambar 3.7 Penampang hasil pengelasan

#### 3.4.5 Pengukuran panjang retakan

Pengukuran panjang retakan dilakukan pada aluminium 2024 setelah mengalami proses pengelasan GTAW dengan alat ukur *vernier caliper*. Pengamatan panjang retakan dilakukan secara makro.



## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 1.1 Analisa Data Panjang Retakan Akibat Perubahan Arus

Berdasarkan hasil pengelasan aluminium 2024 menggunakan GTAW yang telah dilakukan dengan variasi yang telah ditentukan, dilakukan pengukuran panjang retakan dengan menggunakan *vernier caliper* pada daerah logam las (*weld metal*). Berdasarkan data yang telah diperoleh dari hasil pengamatan retakan pada daerah logam las (*Weld metal*) didapatkan data berupa panjang retakan yang dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil pengamatan panjang retakan pada daerah logam las

Debit Gas	Arus	W rata rata (mm)	P rata rata (mm)	L rata rata (mm)
6 liter/min	120 A	5,81	2,16	45,32
	135 A	6,02	2,43	76,63
	150 A	6,75	3	117,26
10 liter/min	120 A	5,44	1,43	5,94
	135 A	6,08	2,13	102,33
	150 A	6,78	2,65	119,23
14 liter/min	120 A	5,97	2,23	52,61
	135 A	6,3	2,53	90,82
	150 A	6,97	3	131,49

Dari data tabel percobaan diatas dapat diketahui pengaruh perubahan arus pengelasan terhadap kecenderungan terbentuknya cacat berupa retakan (*crack*) pada daerah logam las (*weld metal*). Perbedaan variasi arus pengelasan yang digunakan (120 A, 135 A, dan 150 A) menyebabkan kecenderungan terbentuknya retakan pada logam las yang berbeda pula.



Berdasarkan data pada tabel 4.1 dapat digambarkan grafik pengaruh arus pengelasan terhadap panjang retakan yang terbentuk pada masing masing variasi debit gas yang dapat dilihat pada gambar 4.1.



(a)



(b)





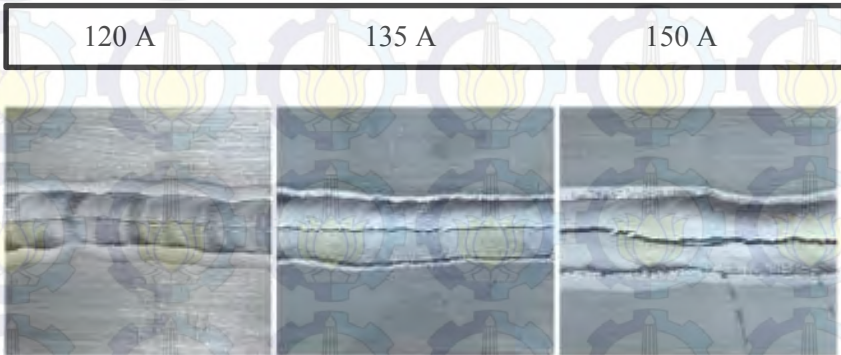
Gambar 4.1 Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Panjang Retakan Yang Terbentuk pada (a) Pengelasan dengan debit 6 lt/min (b) Pengelasan dengan debit 10 lt/min (c) Pengelasan dengan debit 14 lt/min

Ketiga grafik diatas menggambarkan penambahan panjang retakan yang terbentuk pada masing masing debit gas yang digunakan. Berdasarkan ketiga grafik diatas dapat dilihat bahwa penggunaan debit gas yang berbeda menunjukkan *trendline* yang sama untuk kecenderungan terbentuknya retakan. Seiring dengan naiknya arus, panjang retakan yang terbentuk akan semakin panjang.

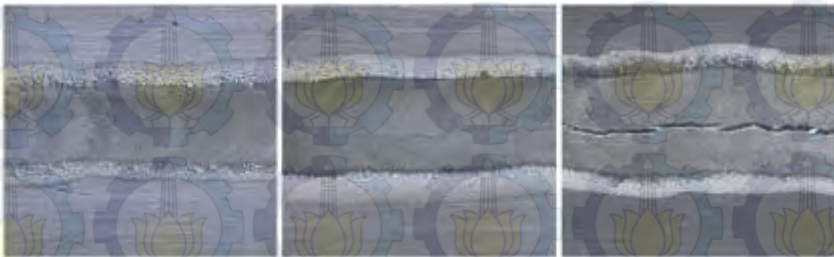
Berubahnya besar arus pengelasan yang digunakan menyebabkan perbedaan kecenderungan terbentuknya retakan. Pada pengelasan dengan debit gas 6 lt/min menggunakan arus 120 A rata rata panjang retakan yang terjadi adalah 45,32 mm sedangkan pada arus 135 A rata rata panjang retakan yang terjadi adalah 76,63 mm dan pada arus 150 A rata rata panjang retakan yang terjadi adalah 117,26 mm. Pada pengelasan dengan debit gas 10 lt/min menggunakan arus 120 A rata rata panjang retakan yang terjadi adalah 5,94 mm sedangkan pada arus 135 A rata rata panjang retakan yang terjadi adalah 102,33 mm dan pada arus 150 A rata rata panjang retakan yang terjadi adalah 119,23 mm. Pada pengelasan dengan debit gas 14 lt/min menggunakan arus 120 A rata rata panjang



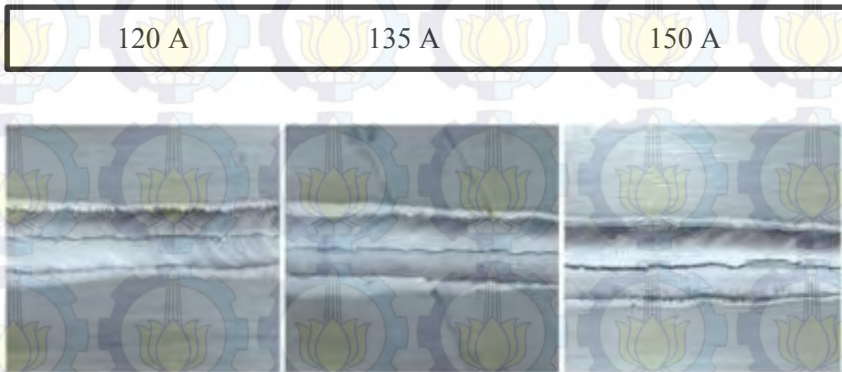
retakan yang terjadi adalah 52,61 mm sedangkan pada arus 135 A rata rata panjang retakan yang terjadi adalah 90,82 mm dan pada arus 150 A rata rata panjang retakan yang terjadi adalah 131,49 mm.



Gambar 4.2 (a) Retakan pada pengelasan dengan debit gas 6 lt/min



Gambar 4.2 (b) Retakan pada pengelasan dengan debit gas 10 lt/min



Gambar 4.2 (c) Retakan pada pengelasan dengan debit gas 14 lt/min

Dengan bertambahnya arus pengelasan yang digunakan, panjang dan lebar retakan yang terjadi juga akan semakin bertambah (Gambar 4.3). Hal ini terjadi karena arus pengelasan yang semakin besar menyebabkan *heat input* pada proses pengelasan juga akan semakin naik, dengan *heat input* yang semakin besar, kenaikan temperatur pada daerah logam las pada saat proses pengelasan berlangsung akan semakin tinggi. Hal ini menyebabkan lebar daerah pengelasan semakin lebar, sehingga proses solidifikasi yang dimulai dari *fusion line* menuju pusat las semakin jauh, akibatnya sebelum logam cair sempat mengisi daerah retakan, sumber panas sudah meninggalkan daerah tersebut. Selain itu semakin besar *heat input* mengakibatkan *internal stress* yang semakin tinggi, sehingga menyebabkan kecenderungan terjadinya retak semakin besar. Selain itu semakin besar heat input yang diberikan akan menyebabkan timbulnya tegangan pada benda kerja akibat ekspansi termal yang terjadi, hal ini dapat menyebabkan timbulnya retakan. Selain itu semakin besar heat input yang diberikan akan menyebabkan timbulnya tegangan pada benda kerja akibat ekspansi termal yang terjadi, hal ini dapat menyebabkan timbulnya retakan.





#### 4.2 Analisa Perbandingan W dan P

Dari data tabel percobaan 4.2 dapat diketahui pengaruh parameter pengelasan berupa arus dan debit gas terhadap perbandingan lebar dan kedalaman penetrasi pada daerah logam las (*weld metal*).

**Tabel 4.2 Hasil pengamatan lebar las (W) dan kedalaman penetrasi (P)**

Debit Gas	Arus	W (mm)	P (mm)	W/P
6 liter/min	120 A	5,81	2,16	2,68
	135 A	6,02	2,43	2,47
	150 A	6,75	3	2,25
10 liter/min	120 A	5,44	1,43	3,81
	135 A	6,08	2,13	2,86
	150 A	6,78	2,65	2,56
14 liter/min	120 A	5,97	2,23	2,68
	135 A	6,3	2,53	2,49
	150 A	6,97	3	2,32



Gambar 4.3 Dokumentasi daerah W dan P

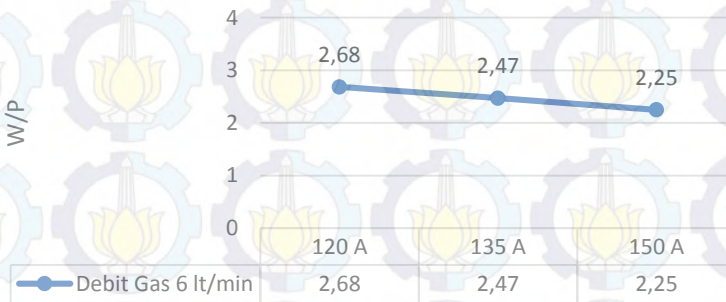


Gambar 4.4 Penampang W dan P



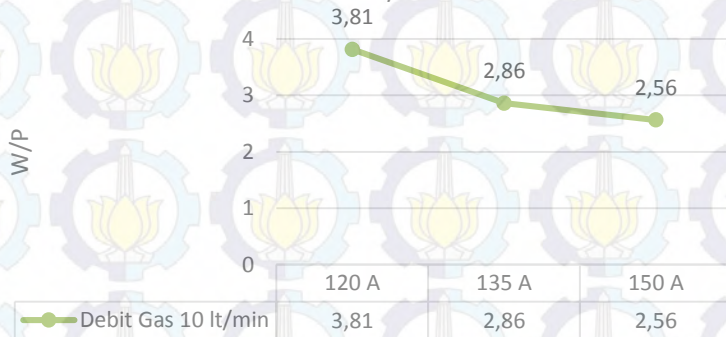
Berdasarkan data pada tabel 4.2 dapat digambarkan grafik pengaruh arus pengelasan dan debit gas terhadap nilai perbandingan W/P yang dapat dilihat pada gambar 4.6

Perbandingan W/P Pada Pengelasan dengan Debit Gas 6 lt/min

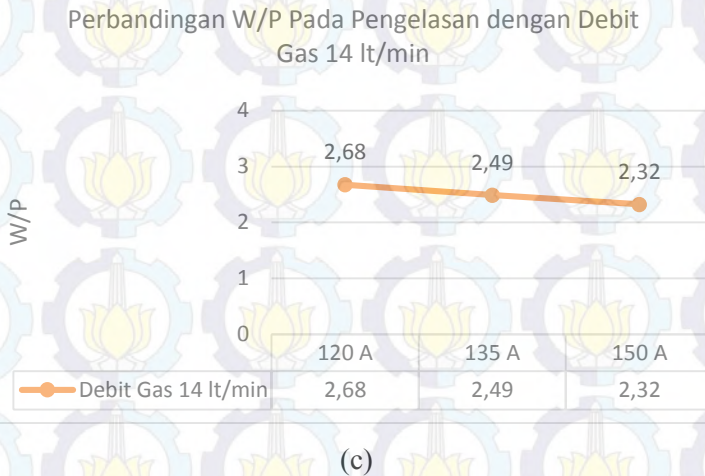


(a)

Perbandingan W/P Pada Pengelasan dengan Debit Gas 10 lt/min



(b)



Gambar 4.5 Pengaruh Arus dan Debit Gas Terhadap Rasio W/P Yang Terbentuk pada (a) Pengelasan dengan debit 6 lt/min (b) pengelasan dengan debit 10 lt/min (c) Pengelasan dengan debit 14 lt/min

Ketiga grafik diatas menggambarkan kecenderungan perbandingan W (lebar logam las) dan P (kedalaman penetrasi) pada setiap variasi arus dan debit gas. Berdasarkan ketiga grafik diatas dapat dilihat bahwa pada penggunaan debit gas yang berbeda memiliki tren yang sama untuk nilai rasio antara W dan P. Seiring bertambahnya arus dan debit gas, potensi terbentuknya retakan pada *centerline* logam las semakin besar.

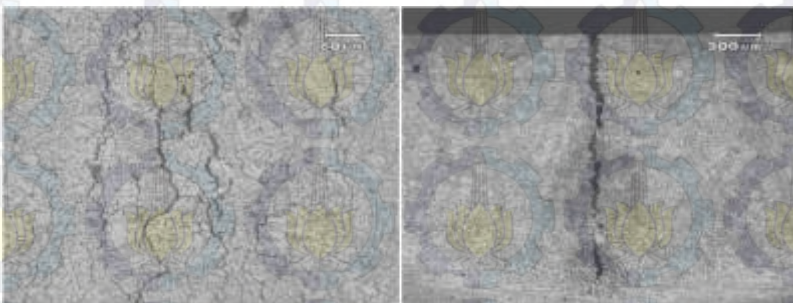
Berubahnya besar arus pengelasan dan debit gas yang digunakan menyebabkan perbedaan kecenderungan terbentuknya retakan. Pada pengelasan dengan debit gas 6 lt/min didapatkan perbandingan W/P pada arus 120 A 2,68 ; 135 A 2,47; dan pada arus 150 A 2,25. Pada pengelasan dengan debit gas 10 lt/min didapatkan perbandingan W/P pada arus 120 A 3,81 ; 135 A 2,86; dan pada arus 150 A 2,56. Pada pengelasan dengan debit gas 14 lt/min didapatkan





perbandingan W/P pada arus 120 A 2,68 ; 135 A 2,49; dan pada arus 150 A 2,32.

Perbandingan antara lebar logam las (W) dan kedalaman penetrasi (P) dapat mengakibatkan terjadinya retak pada proses pembekuan (*solidification crack*). Semakin rendah rasio antara W dan P maka dapat mengakibatkan potensi retak pada *centerline* logam las semakin besar. Hal ini terjadi karena semakin dalam penetrasi pada logam las kontraksi yang terjadi cenderung kearah horizontal, sehingga mengakibatkan kecenderungan terbentuknya retak pada *centerline* logam las seperti yang nampak pada gambar 4.7. Selain itu *centerline crack* juga disebabkan oleh pertumbuhan *grain*. Semakin dalam penetrasi, akan menyebabkan *grain* tumbuh dari sisi samping membentuk *columnar dendrites*, hal ini menyebabkan daerah *centerline* logam las menjadi rawan terjadi retakan akibat penyusutan termal. Hal ini disebabkan karena *grain* yang bertumbuh dari dua arah yang berlawanan menyebabkan tegangan permukaan pada *liquid films* (daerah pada *centerline* yang masih berbentuk liquid karena mengalami solidifikasi paling akhir) menjadi sangat besar sehingga menyebabkan retak



Gambar 4.6 Hot Crack pada *centerline* logam las



### 4.3 Analisa terbentuknya *microcrack*

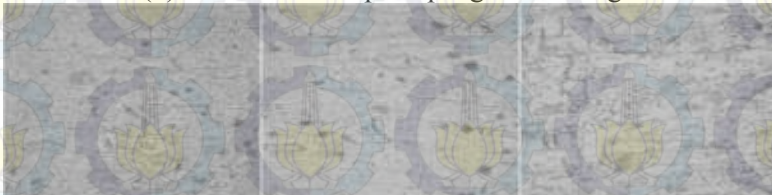
Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan pada setiap variasi arus dan debit gas pada pengelasan, ditemukan pula kecenderungan terbentuknya retakan mikro. Retakan mikro tersebut tidak terjadi pada setiap variasi pengelasan. Berdasarkan hasil pengamatan, retakan mikro tidak nampak pada pengelasan dengan arus 120 A pada debit gas 6 lt/min dan pengelasan dengan arus 150 A pada debit gas 10 lt/min dan 14 lt/min.



Gambar 4.7 (a) Retakan mikro pada pengelasan dengan arus 120 A



Gambar 4.7 (b) Retakan mikro pada pengelasan dengan arus 135 A



Gambar 4.7 (c) Retakan mikro pada pengelasan dengan arus 150 A

Retakan mikro tersebut terjadi karena pada aluminium paduan memiliki daerah semisolid yang berada diantara garis *liquidus* dan *solidus*. Daerah semisolid tersebut terbentuk karena



adanya ketidakseragaman sifat kimia yang menyebabkan perbedaan temperatur lebur material. Aluminium 2024 dengan 4% Cu memiliki daerah semisolid yang cukup lebar dimana semakin lebar daerah tersebut akan meningkatkan resiko terjadinya peleburan pada *grain boundary*. Peleburan pada daerah *grain boundary* tersebut akan menyebabkan terjadinya retakan karena daerah tersebut tidak mampu menahan tegangan yang terjadi akibat proses penyusutan yang terjadi pada daerah logam las.

#### 4.4 Analisa Perubahan Kekerasan

##### 4.4.1 Analisa Perubahan Kekerasan Akibat Perubahan Arus

Berdasarkan hasil uji kekerasan yang dilakukan pada daerah logam las, daerah pengaruh panas (HAZ), dan logam induk didapatkan nilai kekerasan yang dapat dilihat pada tabel 4.3.

Berdasarkan data pada tabel 4.3 dapat diketahui perubahan kekerasan akibat perubahan arus pengelasan dan debit gas. Arus pengelasan yang digunakan dalam percobaan ini adalah 120 A, 135 A, dan 150 A sedangkan debit gas yang digunakan dalam percobaan ini sebesar 6 lt/min, 10 lt/min dan 14 lt/min.

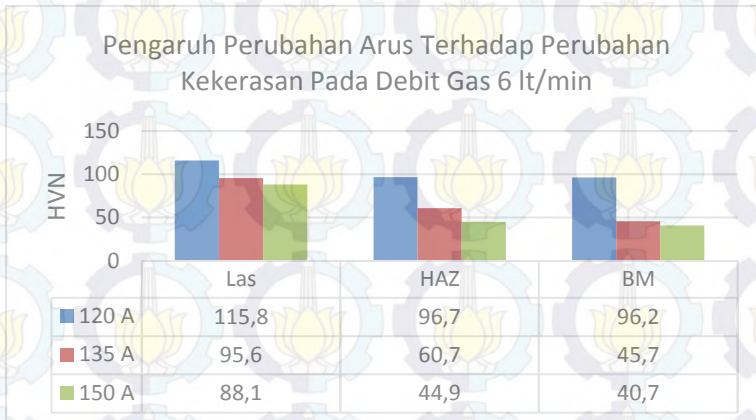
**Tabel 4.3 Data hasil pengujian Kekerasan Hasil Pengelasan**

	Debit Gas	Arus	Lebar HAZ	Lebar Weld Metal	Nilai Kekerasan (HVN)		
					Weld Metal	HAZ	Base Metal
Precipitation Hardening	6 lt/min	120A	1,82	5,81	115,8	96,7	96,2
		135A	2,02	6,02	95,6	60,7	45,7
		150A	3,82	6,75	88,1	44,9	40,7
	10 lt/min	120A	1,72	5,44	92,8	59,4	58,4
		135A	2,19	6,08	92	44,2	41
		150A	2,63	6,78	91,4	82,7	56,3
	14 lt/min	120A	2,53	5,97	98,1	63,5	57,6
		135A	2,88	6,3	95,9	58,1	54,9
		150A	3,37	6,97	98,9	67,9	57,9

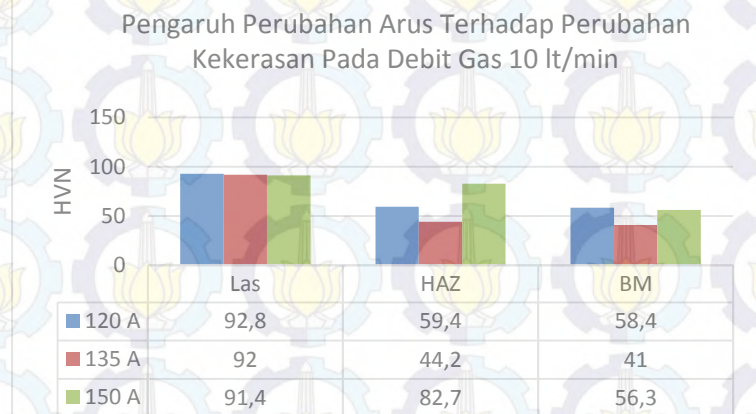




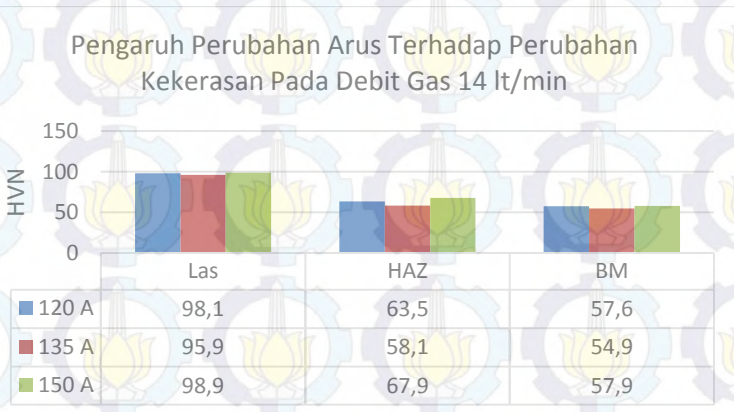
Berdasarkan data pada tabel 4.3 dapat digambarkan grafik pengaruh perubahan arus terhadap perubahan kekerasan pada setiap daerah (logam las, daerah pengaruh panas (HAZ), dan logam induk) seperti berikut.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.8 Pengaruh variasi arus pengelasan terhadap perubahan kekerasan Debit gas (a) 6 lt/min (b) 10 lt/min (c) 14 lt/min

Ketiga grafik diatas menggambarkan kecenderungan perubahan kekerasan akibat perubahan arus pengelasan pada daerah *weld metal*, HAZ, dan *base metal* pada masing masing variasi debit gas. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan didapatkan bahwa tingkat kekerasan paling tinggi terdapat pada daerah *weld metal*, kemudian kekerasan semakin menurun pada daerah HAZ hingga daerah *base metal* dimana nilai kekerasan terkecil terdapat pada daerah *base metal*, hal ini berlaku pada setiap variasi debit gas.

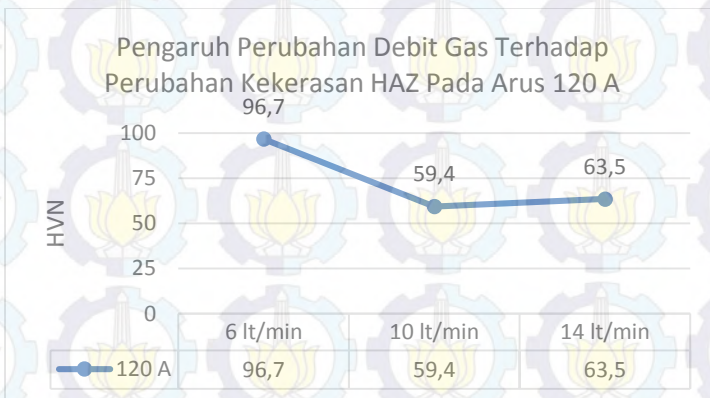
Dengan bertambahnya arus pengelasan yang digunakan akan menyebabkan *heat input* pada proses pengelasan juga akan semakin naik, dengan *heat input* yang semakin besar, kenaikan temperatur pada daerah logam las pada saat proses pengelasan berlangsung akan semakin tinggi menyebabkan daerah HAZ semakin lebar, sehingga nilai kekerasan pada titik yang sama akan semakin menurun, hal ini terjadi pada setiap variasi debit gas. Sebagai contoh dapat dilihat pada grafik gambar 4.8 (a) pada pengelasan dengan arus 120 A dengan debit 6 lt/min didapatkan nilai kekerasan pada daerah *weld metal* sebesar 119,8 HVN pada daerah HAZ 96,7 HVN dan pada



daerah *base metal* 96,2 HVN. Pada pengelasan dengan arus 135 A didapatkan nilai kekerasan pada daerah *weld metal* sebesar 95,6 HVN pada daerah HAZ 60,7 HVN dan pada daerah *base metal* 45,7 HVN. Pada pengelasan dengan arus 150 A didapatkan nilai kekerasan pada daerah *weld metal* sebesar 88,1 HVN pada daerah HAZ 44,9 HVN dan pada daerah *base metal* 40,7 HVN.

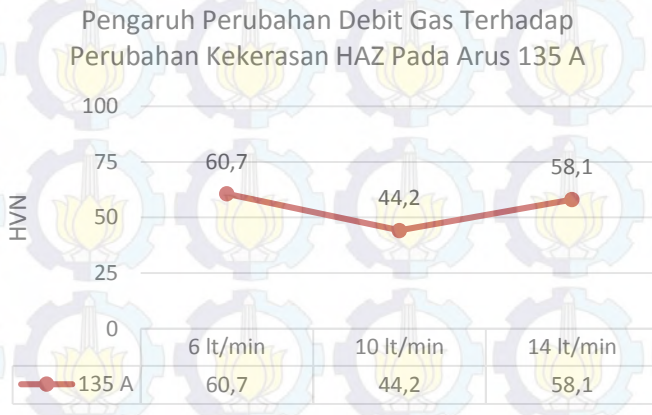
Namun terjadi penyimpangan yang dapat terlihat pada grafik pengelasan dengan arus 150 A pada debit 10 lt/min dan 14 lt/min. Berdasarkan teori, semakin bertambahnya arus pengelasan yang digunakan nilai kekerasan pada titik yang sama akan semakin menurun. Namun berdasarkan data yang diperoleh, nilai kekerasan pada arus 150 A dengan debit gas 10 lt/min dan 14 lt/min memiliki nilai kekerasan paling tinggi. Hal ini terjadi dikarenakan besar *heat input* pada benda kerja mengalami perubahan dari yang seharusnya akibat kecepatan pengelasan dan sudut pengelasan yang sulit untuk dijaga konstan.

#### 4.4.2 Analisa Perubahan Kekerasan Akibat Perubahan Debit Gas

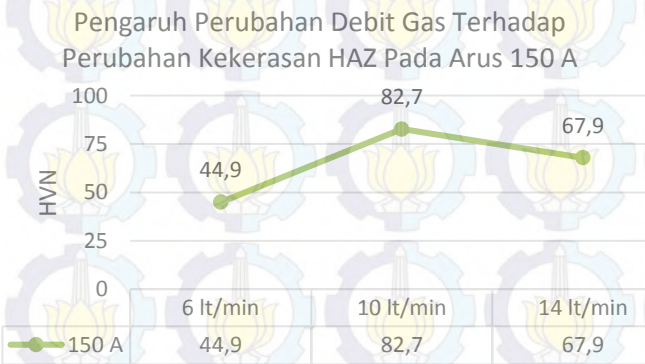


(a)





(b)



(c)

Gambar 4.9 Grafik variasi debit gas terhadap perubahan kekerasan  
(a) 120 A (b) 135 A (c) 150 A

Ketiga grafik diatas menggambarkan kecenderungan perubahan kekerasan pada *daerah* HAZ akibat perubahan debit gas pada setiap variasi arus pengelasan. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan didapatkan bahwa nilai kekerasan pada daerah HAZ



### *Tugas Akhir Metalurgi*

---

berubah akibat perubahan debit gas, namun perubahan tersebut tidak efektif terjadi pada setiap variasi arus pengelasan.

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan hasil bahwa pada pengelasan dengan arus 120 A kekerasan HAZ yang terbesar berada pada debit gas 6 lt/min, pada pengelasan dengan arus 135 A kekerasan HAZ yang terbesar berada pada debit gas 6 lt/min, sedangkan pada pengelasan dengan arua 150 A kekerasan HAZ yang terbesar berada pada debit gas 10 lt/min.



## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan data hasil pengujian pengelasan aluminium 2024 dengan variasi arus dan debit gas maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada setiap variasi debit gas yang digunakan, kenaikan besar arus pengelasan secara umum menyebabkan kecenderungan terbentuknya retakan pada daerah logam las.
2. Berdasarkan hasil pengukuran panjang retakan, didapatkan bahwa retakan terpanjang terjadi pada pengelasan dengan arus 150 A dengan debit gas 14 lt/min.
3. Perbandingan lebar las (W) dan kedalaman penetrasi (P) yang semakin kecil menyebabkan kecenderungan terbentuknya *centerline crack* semakin besar
4. Berdasarkan hasil pengukuran lebar las (W) dan kedalaman penetrasi (P), didapatkan bahwa pada setiap variasi debit gas yang digunakan, perbandingan W/P terkecil terjadi pada pengelasan dengan arus 150 A.
5. Berdasarkan hasil uji kekerasan, didapatkan bahwa penggunaan arus pengelasan yang semakin besar menyebabkan penurunan nilai kekerasan pada titik yang sama.





## 5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah

1. Perlunya melakukan peninjauan uji kekerasan kembali mengingat pengujian pada percobaan ini hanya dilakukan satu kali.

## Lampiran

### Lampiran 1

Tabel Pengujian Kekerasan Kondisi Precipitation Hardening

Spesimen	Titik	Diagonal 1	Diagonal 2	D (avg)	HVN	HVN (avg)
1	1	0,3	0,31	0,305	59,8	59,8
	2	0,31	0,31	0,31	57,9	
	3	0,3	0,3	0,3	61,8	
2	1	0,3	0,3	0,3	61,8	61,8
	2	0,3	0,3	0,3	61,8	
	3	0,3	0,3	0,3	61,8	
3	1	0,3	0,315	0,308	58,6	60,1
	2	0,3	0,3	0,3	61,8	
	3	0,3	0,31	0,305	59,8	
4	1	0,31	0,31	0,31	61,8	56,8
	2	0,33	0,31	0,32	54,3	
	3	0,325	0,315	0,32	54,3	
5	1	0,3	0,31	0,305	59,8	59,2
	2	0,305	0,315	0,31	57,9	
	3	0,3	0,31	0,305	59,8	
6	1	0,315	0,315	0,315	56,1	57,5
	2	0,315	0,3	0,308	58,6	
	3	0,3	0,32	0,31	57,9	
7	1	0,3	0,31	0,305	59,8	60,1
	2	0,3	0,305	0,303	60,6	
	3	0,3	0,31	0,305	59,8	
8	1	0,3	0,3	0,3	61,8	61,0
	2	0,3	0,305	0,303	60,6	
	3	0,3	0,305	0,303	60,6	

Spesimen	Titik	Diagonal 1	Diagonal 2	D (avg)	HVN	HVN (avg)
9	1	0,3	0,31	0,305	59,8	61,8
	2	0,3	0,29	0,295	63,9	
	3	0,3	0,3	0,3	61,8	
10	1	0,32	0,3	0,31	57,9	56,9
	2	0,315	0,315	0,315	56,1	
	3	0,31	0,315	0,313	56,8	
11	1	0,3	0,3	0,3	61,8	61,8
	2	0,3	0,3	0,3	61,8	
	3	0,3	0,3	0,3	61,8	
12	1	0,3	0,31	0,305	59,8	59,2
	2	0,3	0,31	0,305	59,8	
	3	0,31	0,31	0,31	57,9	
13	1	0,32	0,32	0,32	54,3	56,1
	2	0,3	0,32	0,31	57,9	
	3	0,33	0,3	0,315	56,1	
14	1	0,325	0,325	0,325	52,7	54,2
	2	0,31	0,325	0,318	55	
	3	0,315	0,32	0,318	55	
15	1	0,3	0,315	0,308	58,6	55,5
	2	0,325	0,33	0,328	51,7	
	3	0,32	0,31	0,315	56,1	
16	1	0,3	0,33	0,315	56,1	53,8
	2	0,32	0,33	0,325	52,7	
	3	0,33	0,32	0,325	52,7	
17	1	0,3	0,31	0,305	59,8	57,9
	2	0,3	0,32	0,31	57,9	
	3	0,31	0,32	0,315	56,1	
18	1	0,31	0,315	0,313	56,8	54,8
	2	0,31	0,33	0,32	54,3	
	3	0,315	0,33	0,323	53,3	



## Lampiran 2

Tabel Pengujian Kekerasan Kondisi Solution Hardening

Spesimen	Titik	Diagonal 1	Diagonal 2	D (avg)	HVN	HVN (avg)
1	1	0,36	0,36	0,36	42,9	43,3
	2	0,36	0,36	0,36	42,9	
	3	0,35	0,36	0,355	44,1	
2	1	0,35	0,36	0,355	44,1	44,1
	2	0,36	0,36	0,36	42,9	
	3	0,35	0,35	0,35	45,4	
3	1	0,33	0,32	0,325	52,7	54,3
	2	0,33	0,31	0,32	54,3	
	3	0,31	0,32	0,315	56,1	
4	1	0,34	0,34	0,34	48,1	48,2
	2	0,33	0,33	0,33	51,1	
	3	0,35	0,35	0,35	45,4	
5	1	0,33	0,35	0,34	48,1	47,6
	2	0,34	0,34	0,34	48,1	
	3	0,35	0,34	0,345	46,7	
6	1	0,37	0,37	0,37	40,6	41,7
	2	0,37	0,37	0,37	40,6	
	3	0,35	0,36	0,355	44,1	
7	1	0,35	0,35	0,35	45,4	46,3
	2	0,35	0,33	0,34	48,1	
	3	0,35	0,35	0,35	45,4	
8	1	0,34	0,335	0,3375	49	47,9
	2	0,35	0,34	0,345	46,7	
	3	0,33	0,35	0,34	48,1	



### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dursun, Tolga., Soutis Costas. 2013. *Recent Development in Advanced Aircraft Aluminium Alloy*. Materials and design vol 56 (2014) 862-871. Aerospace Research Institute, University of Manchester.
- [2] <http://aluminium.matter.org.uk>
- [3] Kah, P., Martikainen, J. 2011. *Current Trends in Welding Processes and Materials: Improve in Effectiveness*. Rev. Adv. Mater. Sci. 30 (2012) 189-200. Lappeenranta University of Technology, Finland.
- [4] Hadadzadeh, A., Ghaznavi, M.M., Kokabi, A.A. *The Effect of Gas Tungsten Arc Welding and Pulsed-Gas Tungsten Arc Welding Processes Parameters on the Heat Affected Zone Softening Behaviour of Strain-Hardened Al-6.7Mg Alloy*. Materials and Design 55 (2014) 335-342. University of Waterloo, Waterloo, ON, Canada.
- [5] Shahab, Abdullah. *Tinjauan Metalografis Perubahan Struktur Logam Akibat Pengelasan*.
- [6] Rachmadani, W.A. Metode Perbaikan pada *Silencing Skin* dari *Exhaust Cone* Pesawat Airbus 320 dengan Penambahan *Doubler* Berbentuk *Solid* dan *Perforated* Menggunakan Teknik Pengelasan GTAW. Undergraduate Thesis of Mechanical Engineering, RSM 671.52 (2014). ITS Library
- [7] Kou, Sindo. 2003. *Welding Metallurgy*. John Wiley & Sons, Inc (Second edition, 2002)
- [8] Peasura, Prachya., Watanapa., Anucha. 2012. *Influence of Shielding Gas on Aluminum Alloy 5083 in Gas Tungsten Arc Welding*. Procedia Engineering 29 (2012) 2465-2469. King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand.





- [9] Yao, Liu et al. 2012. *Microstructure and mechanical properties of aluminium 5083 weldments by gas tungsten arc welding and gas metal arc welding*. Material Science and Engineering A 549 (2012) 7-13. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China.
- [10] Ambroziak, A., Korzeniowski, M. 2010. *Using Resistance Spot Welding for Joining Aluminium Elements in Automotive Industry*. Archives of Civil and Mechanical Engineering Vol. X (2010) no 1
- [11] Totten, G.E. 2003. *Handbook of Aluminum* (Volume 1). Marcel Dekker, Inc
- [12] Arai, Tohru., et al. 1991. *ASM Metals Handbook, Vol 04 Heat Treating*.
- [13] Smith, W.F. 1988. *Principles of Materials Science and Engineering*. McGraw-Hill, Inc.
- [14] Chandler, Harry. 1996. *Heat Treater's Guide Practices and Procedures for Nonferrous Alloys*. ASM International.
- [15] Mathers, Gene. 2002. *Welding of Aluminum and its Alloys*. CRC Press.
- [16] Messler, R.W. 1999. *Principles of Welding*. John Wiley & Sons, Inc.
- [17] Olson, D.L. et al. 1991. *ASM Metals Handbook, Vol 06 Welding Brazing and Soldering*.
- [18] Baughurst, L., Voznaks, G. *Welding Defects, Causes and Corrections*. Australian Bulk Handling Review: July/Augustus 2009.





**Putra Tanujaya** lahir di Surabaya 21 Maret 1992. Menyelesaikan pendidikan formal mulai Sekolah Dasar di SDN Perak Barat II Surabaya, Sekolah Menengah Pertama di SMPN II Surabaya, dan Sekolah Menengah Atas di SMAN II Surabaya.

Selama kuliah, penulis juga aktif ikut serta dalam berbagai kegiatan keilmiah dan organisasi. Pada tahun 2011 penulis menjadi finalis Lomba Karya Tulis Ilmiah – Pekan Mahasiswa ITS 14 (PIMITS 14). Pada tahun yang sama penulis ikut serta dalam kepanitiaan kegiatan ormawa institut yaitu MUBES IV ITS. Pada periode tahun 2011-2012 penulis menjadi salah satu *staff* kementerian dalam negeri (*internal Affair*) BEM ITS.

Selama berkuliah di jurusan Teknik Mesin ITS, ketertarikan penulis terhadap *material science* membawa penulis untuk mengambil tugas akhir pada bidang pengelasan dibawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab MSc dengan judul “Studi Eksperimen Pengaruh Perubahan Arus Dan Debit Gas Pada Pengelasan GTAW Terhadap Potensi Timbulnya Retak Dan Perubahan Kekerasan Pada Aluminium 2024 Setelah Mengalami *Precipitation Hardening*”

Email:  
[tanujaya.putra@gmail.com](mailto:tanujaya.putra@gmail.com)

Spesimen	Titik	Diagonal 1	Diagonal 2	D (avg)	HVN	HVN (avg)
9	1	0,35	0,34	0,345	46,7	46,4
	2	0,34	0,345	0,3425	47,6	
	3	0,35	0,355	0,3525	44,9	
10	1	0,36	0,35	0,355	44,1	44,5
	2	0,35	0,35	0,35	45,4	
	3	0,36	0,35	0,355	44,1	
11	1	0,355	0,335	0,345	46,7	45,4
	2	0,355	0,355	0,355	44,1	
	3	0,36	0,34	0,35	45,4	
12	1	0,36	0,36	0,36	42,9	43,7
	2	0,355	0,345	0,35	45,4	
	3	0,37	0,35	0,36	42,9	
13	1	0,35	0,35	0,35	45,4	46,3
	2	0,35	0,33	0,34	48,1	
	3	0,345	0,355	0,35	45,4	
14	1	0,36	0,34	0,35	45,4	46,1
	2	0,35	0,34	0,345	46,7	
	3	0,35	0,345	0,3475	46,2	
15	1	0,34	0,37	0,355	44,1	46,1
	2	0,35	0,345	0,3475	46,2	
	3	0,34	0,34	0,34	48,1	
16	1	0,35	0,36	0,355	44,1	45,9
	2	0,335	0,335	0,335	49,6	
	3	0,36	0,35	0,355	44,1	
17	1	0,37	0,35	0,36	42,9	42,9
	2	0,37	0,36	0,365	41,7	
	3	0,35	0,36	0,355	44,1	
18	1	0,355	0,345	0,35	45,4	45,8
	2	0,35	0,34	0,345	46,7	
	3	0,35	0,35	0,35	45,4	

